

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky

**Systém bezdrátového monitorování teploty v
plynotěsných protichemických oblecích**
**Temperature Monitoring inside Gastight Chemical
Protective Suite**

2011

Jan Tomeček

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Tomeček**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik
Téma: **System bezdrátového monitorování teploty v plynotěsných
protichemických oblecích
Temperature Monitoring inside Gastight Chemical Protective Suite**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou měření tělesné teploty.
2. Výběr vhodných senzorů pro aplikaci měření tělesné teploty v plynotěsných oblecích.
3. Návrh a realizace zařízení pro měření tělesné teploty v plynotěsných oblecích a indikaci naměřené teploty mimo plynotěsný oblek.
4. Provedení testů.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. PENHAKER, M. - IMRAMOVSKÝ, M. - TIEFENBACH, P. *Lékařské diagnostické přístroje: učební texty*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. 320 s. ISBN 80-248-0751-3.
2. ROZMAN, J., et al. *Elektronické přístroje v lékařství*. 1. vyd. Praha: Academia, 2006. 406 s. ISBN 80-200-1308-3.
3. ENDERLE, J. - BLANCHARD, S. - BRONZINO, J. *Introduction to Biomedical Engineering*. 2nd ed. Burlington(USA): Elsevier/ Academic Press, 2005. 1117 s. ISBN 978-0-12-238662-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Černý**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne

Jan Tomeček

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Černému. Dále za pomoc panu Ing. Ondřeji Adamcovi a Ing. Jiřímu Kotzianovi Phd.

Abstrakt

Cílem mé bakalářské práce je navrhnout a realizovat modul měřící teplotu, jehož naměřené údaje budou moci být zobrazeny bezdrátově na jiném vzdáleném zařízení. Tento modul o co nejmenších rozměrech bude poté umístěn do speciálních protichemických požárních obleků, kde bude měřit teplotu, přenášet ji do monitorovacího zařízení, a v případě kritické situace spustí alarm. Kromě aktuální teploty má uživatel možnost sledovat také stav baterií modulů a pomocí sériové linky a počítače si nastavit vlastní kritickou teplotu a jméno pro každý modul.

Všechny moduly obsahují mikroprocesor CC2430 od TI s vestavěnou technologií ZigBee pro bezdrátovou komunikaci. Všechn software je napsán ve vývojovém prostředí IAR v programovacím jazyce C. Návrh desky plošných spojů byl vytvořen v programu Eagle. Vývojové diagramy jsou vytvořeny v programu Enterprise Architect.

Klíčová slova

CC2430, CC2431, ZigBee, SmartRF04EB, měření teploty, monitorování baterie, sériová linka, protichemické obleky, OPECH-90, LM92, RS232

Abstract

The aim of my bachelor study is to project and realize the temperature measuring device, the data of which can be displayed wireless on different remote device. This equipment as small as possible then will be put into the special gasproof fire coveralls to measure a temperature and transmit locals of it to monitoring device to start alarm in critical situation. Together with actual temperature the user can monitor a battery life status and with serial bus and computer can set up his own critical temperature value and the name for such device.

All devices contain microprocesor CC2430 of TI with built-in ZigBee technology for wireless communication. The whole software is written in IAR Workbench Embedded in C programming language. The PCB design was created in Eagle program. The Flowcharts are created in Enterprise Architect program.

Keywords

CC2430, CC2431, ZigBee, Smart RF04EB, temperature measuring, battery status monitory, serial bus, gasproof coveralls, OPECH-90, LM92, RS232

Seznam použitých symbolů a zkratek

AAA	Označení rozměru bateriových článků
ACK	Acknowledge
AD	Analog-to-digital - analogově digitální
AES	Advanced Encryption Standard
APL	Aplikační vrstva
BPS	Bity za sekundu
CPU	Central Processing Unit – Centrální procesorová jednotka
CMOS	Doplňující se kov-oxid-polovodič
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DMA	Direct memory Access - Přímý přístup do paměti
DSP	Specializovaný mikroprocesor s optimalizovanou architekturou pro rychlé zpracování digitálního signálu.
GND	Ground – země
GSM	Globální Systém pro Mobilní komunikaci
HVAC	Vytápění, větrání a klimatizace
I2C	Inter-Integrated-Circuit - multi-masterová počítačová sériová sběrnice.
IEEE	Institut of Electrical and Electronics Engineers Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
LCD	liquid Crystal Display
LED	Light-emitting diode - Světlo emitující dioda
MAC	Media Access Control - Linková vrstva
MCU	Mikrokontrolér
MSOP	Mini Small Outline Package - Jedná se o typ nosiče chipu nebo jiné elektroniky.
NWK	Network síť
PAN	Personal Area Network Identifier - Adresa v síti
POR	Reset napájení
QSOP	Quarter-Size Small-Outline - Typ nosiče chipu.
SI	Soustava jednotek fyzikálních veličin
SPI	Modul umožňující full-duplex synchronní sériovou komunikaci mezi periferními zařízeními a jinými mikropočítači.
RAM	Paměť s přímým přístupem
RC	Rezistor-kapacitor □
RCOSC	RC oscilátor
RF	Rádiová frekvence
RS232	Komunikační standard
RSSI/LQI	Indikátor síly odeslaného signálu/ Indikace kvality spoje
RX	Přijímač
TI	Texas Instruments
Vdd	Napájecí napětí [V]
Vs	Napájecí napětí [V]

Obsah

1	<i>Úvod</i>	1
2	<i>Teplota</i>	2
3	<i>Teplota v lidském organismu</i>	3
3.1	Normální tělesná teplota	3
3.2	Ztráty tepla	4
3.3	Regulace tělesné teploty	5
3.4	Úpal	6
4	<i>Typy senzorů teploty</i>	7
4.1	Termoelektrické teploměry	7
4.2	Odporové teploměry	8
4.3	Termistory	8
4.4	Integrované obvody s teplotními senzory	8
5	<i>Ochranné oděvy</i>	10
5.1	Rozdělení ochranných oděvů	10
5.2	Forma protichemických ochranných oděvů	10
5.3	Materiály na ochranné protichemické oděvy	11
5.4	OPCH 90 –PO	11
6	<i>Činnost v protichemickém ochranném obleku</i>	13
7	<i>Konkrétní senzory teploty</i>	14
7.1	AD7314	14
7.2	ADT74111	14
7.3	LM92	15
8	<i>Návrh</i>	17
9	<i>Telemetrická část</i>	19
9.1	CC2430	19
9.2	ZigBee	22
9.3	Realizace monitorovací části	23
9.4	Realizace měřicí části	26
10	<i>Návrh a realizace komunikace s PC</i>	28
10.1	Způsob komunikace	28
10.2	Nastavení RS232	28
10.3	Realizace	30
10.4	Popis samotné komunikace	30

11	<i>Návrh a realizace měření teploty</i>	33
11.1	Výběr senzoru	33
11.2	Popis senzoru	33
11.3	Komunikace mezi senzorem a mikroprocesorem	34
11.4	Vyhodnocení naměřené teploty	36
12	<i>Napájení a stav baterie měřícího modulu</i>	37
12.1	Výběr akumulátoru	37
12.2	Stav baterie	37
13	<i>Realizace alarmu</i>	39
14	<i>Realizace zobrazování</i>	39
15	<i>Realizace ovládání</i>	39
16	<i>Testování</i>	40
17	<i>Závěr</i>	41
18	<i>Seznam použité literatury</i>	42
	<i>Seznam příloh</i>	44

1 Úvod

Pokud si uvědomíme, že protichemické požární obleky jsou hermeticky uzavřené a práce v nich je fyzicky velmi náročná, je jasné, že zasahujícím hrozí přehřátí organismu. Dosavadní řešení tohoto faktu je pomocí rádiové komunikace, kdy se jednotliví zasahující průběžně informují a svých subjektivních pocitech, na jejichž základě se vyhodnocuje jejich momentální zdravotní stav. Ovšem díky takto nepřesným informacím může dojít i k životě ohrožujícím situacím, kdy hasiče přímo v akci postihnou příznaky úpalu, které mohou vést až k bezvědomí postižené osoby.

Vzhledem k tomu, že mikroprocesory se dnes již používají téměř ve všech oborech, jsou na takové úrovni, že i velmi výkonné jednotky mají minimální fyzické rozměry. V posledních několika letech také mohou, hlavně díky standardu ZigBee, mezi sebou bezdrátově komunikovat, a to při velmi nízké energetické spotřebě. Díky těmto technologiím tedy již není problém změřit pomocí modulu velmi malých rozměrů aktuální teplotu a bezdrátově ji odeslat na jiné zařízení.

Teoretická část práce začíná druhou kapitolou, kde je obecně popsán pojem teplota. V následující kapitole je poté vysvětleno, jakou roli hraje teplota pro lidský organismus.

Čtvrtá kapitola vysvětluje principy nejčastěji používaných teploměrů. Na ni nepřímo navazuje kapitola sedmá, která již uvádí konkrétní typy teplotních senzorů.

Pátá a šestá kapitola se zabývá protichemickými požárními obleky, a to jak z hlediska konstrukce, tak i jejich použití při zásahu.

Od osmé kapitoly dále je popsán návrh řešení a realizace jednotlivých částí práce, jako je bezdrátový přenos, komunikace s počítačem pomocí sériové linky, monitorování stavu baterie, čtení teploty, realizace alarmu a zobrazování dat.

Sedmnáctá kapitola uvádí princip testování dosahu bezdrátového přenosu a naměřené výsledky.

2 Teplota

Teplota je fyzikální vlastnost hmoty, charakterizující její tepelný stav. Obecně se dá říct, že se jedná o vlastnost předmětů a okolí, kterou může člověk vnímat, a kvantitativně ji přiřadit pocitu studeného, teplého, nebo horkého. Objekty s nízkou teplotou vnímáme jako chladné, zatímco vyšší teploty jsou označovány jako teplé nebo horké. V přírodních a technických vědách a jejich aplikacích je to skalární intenzivní veličina, která je vzhledem ke svému pravděpodobnostnímu charakteru vhodná k popisu stavu ustálených makroskopických systémů [1]. Teplota souvisí s tepelnou energií, kterou vlastní objekt nebo vzorek hmoty. Do důsledku je to kinetická energie částic hmoty, které konají náhodný pohyb. [1]

Teplota patří mezi základní fyzikální veličiny soustavy SI. Její jednotka je kelvin (K). Vedlejší jednotkou je stupeň Celsia ($^{\circ}\text{C}$). Nejnižší možná teplota je teplota absolutní nuly (0 K; $-273,15^{\circ}\text{C}$), ke které se lze pouze přiblížit, nikoli jí dosáhnout. Pro kvantitativní určení teploty se uvede do styku těleso, jehož teplotu chceme znát, se srovnávacím tělesem. Poté se čeká na vytvoření tepelné rovnováhy. Výsledná teplota tělesa je rovna teplotě srovnávacího tělesa, které obvykle nazýváme teploměrem. K určování teploty se běžně využívá závislosti jiných vhodně zvolených fyzikálních veličin na teplotě. Díky tomu je schopen pozorovatel převést měření teploty na měření jiné fyzikální veličiny. Mezi takové teplotně závislé fyzikální veličiny patří např. délkové rozměry a objem pevných a kapalných objektů, tlak plynů (teplotní roztažnost a rozpínavost), elektrický odpor vodičů nebo polovodičů, elektromotorické napětí termoelektrických článků. Při měření vysokých teplot se využívá detekce radiometrických vlastností elektromagnetických vln, které objekty o vysoké teplotě vyzařují. Teploměry, které fungují na takovém principu, se zpravidla nazývají pyrometry. Vysokou teplotu, která se vyskytuje např. v keramických pecích, lze přibližně určit pomocí Segerových jehlánků. Měřením teploty se zabývá obor s názvem termometrie. [1]

Teplota je jedinou intenzivní základní veličinou SI. To znamená, že při měření nelze aplikovat princip „kolikrát se vejde jednotka do měřené veličiny“. Základní jednotka kelvin je však přesto pomocí tohoto principu definována. Pro přesné měření teploty například v metrologii a pro tvorbu teploměrných etalonů proto definice nestačí; je zapotřebí mít praktickou realizaci celého rozsahu měřených teplot. [1]

Určení teploty přímo pomocí definice termodynamické teploty je nepřesné. Není znám ani žádný vhodný fyzikální jev, který by se dal využít pro celý rozsah měřených teplot. Řešením je proto mezinárodní teplotní stupnice, založená na přesně definovaných a prakticky realizovatelných referenčních bodech teploty a na přesné metodice použité pro interpolaci mezi těmito referenčními body [1]. Referenčními body jsou například teploty tuhnutí, teploty kondenzace (zjišťované ve výparnících - hypsometrech) nebo teploty trojných bodů vhodných látek. Interpolace se provádí za pomoci etalonových odporových teploměrů a termoelektrických článků, u vysokých teplot pomocí spektrální hustoty zářivé energie nebo spektrální hustoty zářivosti černého tělesa. [1],[2]

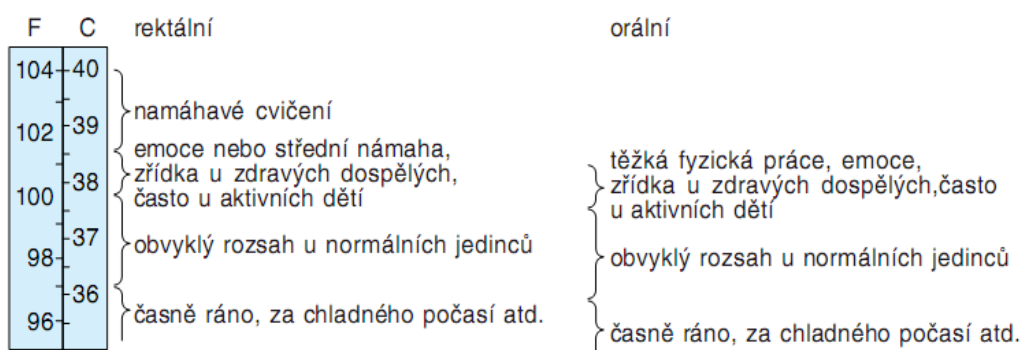
3 Teplota v lidském organismu

Zdrojem tepla v lidském organismu je svalová práce, zpracování potravy a všechny životně důležité pochody, které jsou součástí bazálního metabolismu. Způsoby, jakými se organismus tepla zbavuje, jsou vyzařování, vedení a vypařování vody v dýchacích cestách a z povrchu kůže. Malá množství tepla z organismu odcházejí také s močí a se stolicí. Tělesná teplota je určena rovnováhou mezi tvorbou a výdejem tepla. Na teplotě v organismu závisí rychlost chemických reakcí. Rovněž tak pro optimální práci enzymových systémů je potřebný pouze úzký rozsah teplot. Z toho vyplývá, že pro normální funkce organismu je nutná relativně stálá tělesná teplota. U lidí, jakožto teplokrevných živočichů, bylo vyvinuto skupenství reflexních reakcí řízených hypothalamem, které právě mimo jiné udržuje tělesnou teplotu v úzkém rozsahu i přes různé výkyvy teplot vnějšího prostředí. [3]

3.1 Normální tělesná teplota

U člověka se za normální tělesnou teplotu naměřenou v ústech považuje 37°C ($98,6^{\circ}\text{F}$) s tím, že během dne kolísá v rozmezí $0,5 - 0,7^{\circ}\text{C}$. Teplota naměřená v různých částech těla se liší. Na velikosti rozdílu má vliv teplota okolního prostředí. Při práci vnitřní tělesná teplota roste. [3]

Při fyzické námaze se v lidském těle hromadí teplo vytvářené svalovou činností a rektální teplota běžně stoupá až ke 40°C . Tento vzestup je dán z části neschopností mechanismů, sloužících k odvodu tepla z organismu, dostatečně rychle se vyrovnat s výrazně zvýšeným množstvím produkovaného tepla. Některé důkazy však poukazují na to, že při námaze pravděpodobně roste teplota, při které se mechanismy pro odvod tepla aktivují. Tělesná teplota rovněž stoupá při emočním napětí. To je pravděpodobně zapříčiněno podvědomým napínáním svalstva. [3]



Obr.1 Tabulka tělesných teplot při různých činnostech a stavech lidského těla. [3]

K produkci tepla v lidském těle neustále přispívá celá řada různých chemických reakcí. Po požití potravy roste produkce tepla vlivem jejího specificko-dynamického účinku. Největším zdrojem tepla v lidském těle je však činnost kosterního svalstva. Pokud organismus nepřijímá

potravu ani nekoná svalovou práci, mohou produkci tepla ovlivňovat endokrinní mechanismy. Adrenalin a noradrenalin vyvolávají rychlý, ale krátkodobý vzestup tvorby tepla. Pomalu nastupující, ale zato dlouhodobou produkci tepla vyvolává tyroxin. Při jídle se zvyšuje aktivita sympatiku, naopak snižena je v době půstu. [3]

3.2 Ztráty tepla

3.2.1 Vedení

Vedením se vyměňuje teplo mezi dvěma vzájemně se dotýkajícími předměty s rozdílnou teplotou. Základní princip je následující. Molekuly v předmětu jsou v pohybu, přičemž energie jejich pohybu je úměrná teplotě. Molekuly tělesa s vyšší teplotou narážejí na molekuly chladnějšího tělesa, čímž na ně přenášejí část své tepelné energie. Množství přeneseného tepla se rovná rozdílu teplot obou vzájemně se dotýkajících předmětů - tepelnému gradientu. [3]

3.2.2 Proudění

Proudění neboli konvence přispívá k přenosu tepla vedením. Jedná se o pohyb molekul plynu nebo tekutin ve směru od místa dotyku těles. Pro příklad si můžeme představit předmět, který je v kontaktu se vzduchem rozdílné teploty. Vzduch tak ovlivňuje jeho teplotu, čímž mění jeho specifickou hmotnost. Díky tomu, že teplý vzduch stoupá a studený klesá, dostává se do kontaktu s předmětem nový vzduch. Při pohybu objektu v prostředí se konvence logicky silně zvyšuje. Stejně tak se zvyšuje, když proudí prostředí kolem předmětu. Představit si můžeme tentokrát plavce ve vodě, nebo ventilátor pohybuující vzduchem v místnosti. [3]

3.2.3 Sálání

Při sálání neboli vyzařování se přenáší teplo z jednoho předmětu na druhý pomocí infračerveného elektromagnetického záření. Předměty se tedy nemusejí vzájemně dotýkat. Například osoba v chladném prostředí ztrácí svoje teplo vedením do vzduchu, který je kolem ní a vyzařováním na chladné předměty ve své blízkosti. Naopak jedinec v prostředí s vyšší teplotou, než je jeho vlastní tělesná teplota, stejnými mechanismy přijímá teplo a jeho tělesná teplota roste. Díky vyzařování může osoba v místnosti s chladnými stěnami pociťovat chlad, přestože je vzduch v místnosti poměrně teplý. V praxi to znamená, že za chladného, ale slunečného dne se tepelné záření ze slunce odráží od světlých předmětů a napomáhá tak k oteplování. Představit si můžeme například teplo odražené od sněhu, pomocí kterého můžeme lyžovat i v dosti tenkém oděvu, když teplota okolního vzduchu je pod bodem mrazu. [3]

Jelikož probíhá vedení tepla od povrchu jednoho předmětu k povrchu druhého, záleží v první řadě na teplotě pokožky, do jaké míry se teplo z těla ztrácí, nebo se mu dodává. Množství tepla, které přichází z hlubokých struktur lidského těla do pokožky, se mění v závislosti na míře jejího prokrvení. Teplá krev proudí do pokožky při rozšíření kožních cév, naopak při maximální vazokonstrikci se udržuje teplo uvnitř těla. Množství přeneseného tepla z

hlubokých tkání do kůže se nazývá tkáňové vedení.

[3]

Odpařování vody z pokožky a ze sliznic úst a dýchacích cest je další důležitý způsob odnímání tepla z lidského těla. Pro představu, odpařením jednoho gramu vody ztrácí organismus zhruba 0,6kcal tepla. Jisté množství vody se odpařuje z lidského těla neustále. Toto tzv. »perspiratio insensibilis« způsobuje u člověka ztrátu asi 50ml vody za hodinu. Pokud je zvětšena sekrece potu, rychlost, jakou se odpařuje, závisí na vlhkosti okolí. Z běžného života se ví, že za vlhkého dne člověk pociťuje horko silněji. To je z části zapříčiněno právě sníženým odpařováním potu, avšak i když se všechn pot odpařuje, pociťuje člověk ve vlhkém prostředí silnější pocit horka, než v suchém prostředí. Důvod není doposud známý, usuzuje se, že má vztah ke skutečnosti, že ve vlhkém prostředí se šíří pot před vypařením po větší ploše pokožky. Při práci svalů v horkém prostředí roste tvorba potu až k 1600 mililitrům za hodinu a v suchém prostředí se ho většina vypaří. Odpařováním vody ztratí lidské tělo od 30 do více než 900kcal/h tepla.

[3]

Relativní podíl každého z těchto procesů na odstraňování tepla z organismu (viz tab. 1) závisí na teplotě prostředí[3]. Při 21 °C u člověka, pokud je v tělesném klidu, tvoří odpařování jen menší část ztraceného tepla. Blíží-li se teplota vnějšího prostředí tělesné teplotě člověka, odevzdává se méně tepla sáláním a více odpařováním.

[3]

Tělesné teplo se vydává:	procento tepla vydané při 21 °C
zářením a vedením	70
odpařováním potu	27
dýcháním	2
močí a stolicí	1

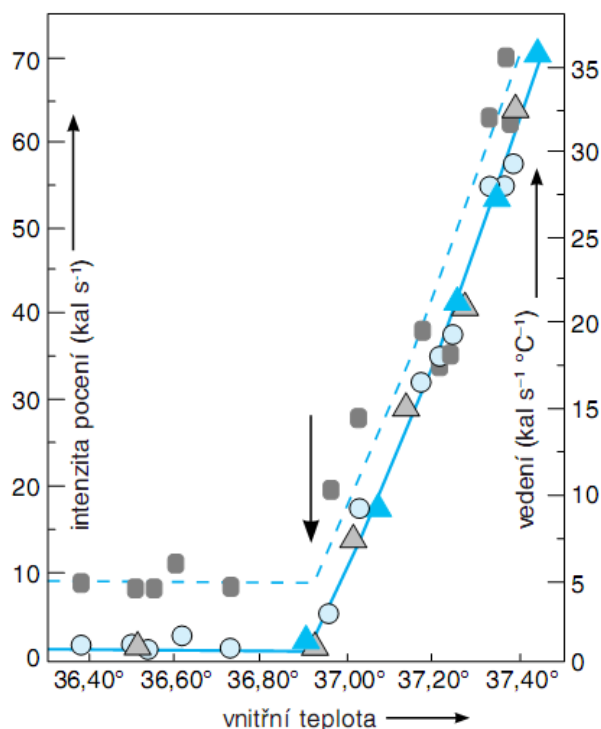
Tab. 1 Tabulka ukazující procentuální podíl všech procesů na odstraňování tepla z organismu. [3]

3.3 Regulace tělesné teploty

O hypothalamu se soudí, že vytváří integrovanou tělesnou teplotu jako odpověď na informace přicházející ze senzorických receptorů (primárně chladových) v kůži, hlubokých tkáních, míše, oblastech mozku mimo hypothalamus a v samotném hypothalamu [3]. Každému z těchto pěti vstupů se přisuzuje přibližně 20 % informace, která je integrována. Pro každou z hlavních odpovědí regulujících teplotu existují prahové teploty [3]. Pokud se dosáhne této teploty, je spuštěna odpověď. Práh 37 °C je určen pro pocení a vazodilataci, práh 36,8 °C pro

vazokonstrikci, 36 °C pro netřesovou termogenezi a 35,5 °C pro třes.

[3]



Obr.2 Kvantitativní vztahy mezi intrakraniální teplotou (vnitřní teplota), prokrvením kůže (čtverečky, stupnice vpravo) a vylučováním potu (kroužky a trojúhelníky, stupnice vlevo) u lidí. Šipkou je označen ostrý práh, od něhož tyto hodnoty začínají stoupat; u této osoby je teplota 36,9°C. [3]

3.4 Úpal

Úpal, latinsky siriasis, vzniká při nahromadění tepla v těle, čímž dochází k poškození organismu. K úpalu dochází při potížích s tělesnou termoregulací, kdy není možné z těla odvést dostatečné množství tepla. Tělo se začne zahřívat až na tělesnou teplotu přes 40°C, zastaví se pocení a postižený může upadnout do bezvědomí. Běžné počáteční stavy jsou poruchy nálady, dezorientace a bolesti hlavy doprovázené závratěmi a potížemi s chůzí. [4],[5],[6]

Úpal je velice nebezpečný. Více než 20% postižených osob může na následky úpalu zemřít. I po vyléčení můžou u postižených osob zůstat trvalé následky v podobě nervových poruch. Smysl pro rovnováhu a orientaci se do normálu vrací až několik měsíců. Při úpalu je nejdůležitější nenechat postiženou osobu upadnout do bezvědomí a problém řešit již při objevení prvních příznaků. Je nutné zavolat lékařskou pomoc a postiženého před jejím příchodem chladit. Tělesná teplota by však neměla klesnout pod 39°C, neboť by pacient mohl upadnout do šoku. [4],[5],[6]

4 Typy senzorů teploty

4.1 Termoelektrické teploměry

Jsou nejlevnější a nejvíce používané teplotní senzory s širokým rozsahem měřených teplot. Funkce termoelektrických teploměrů je založena na termoelektrickém jevu. Když spojíme dva různé kovy, změnou teploty se změní vzniklé termoelektrické napětí v jejich spoji. Měřením tohoto napětí můžeme po převodu získat výslednou teplotu. Různé kombinace kovů vytvářejí rozdílná termoelektrická napětí. Díky tomu můžeme pomocí termoelektrických teploměrů měřit široký rozsah teplot v různých aplikacích. Termoelektrickými teploměry generované napětí je velmi nízké, typicky $50\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Tyto nízké úrovně signálů vyžadují speciální úpravu pro odstranění možného šumu. Termoelektrické teploměry mají nelineární závislost vůči měřené teplotě. Pro dosažení správného výsledku je tedy nutné buďto charakteristiky linearizovat nebo použít tabulky s předem určenými hodnotami k získání aktuální teploty z naměřeného napětí. [7]



Obr.3 Termoelektrický teploměr [17]

4.2 Odporové teploměry

Odporový teploměr je rezistor, jehož rezistence se mění s teplotou. Nejběžnějším typem je odporový teploměr vyrobený z platiny, jehož rezistence je 100Ω při 0°C . Jelikož jsou odporové teploměry rezistentní součástky, musí jimi procházet proud, aby vzniklo napětí, které poté můžeme měřit. Změny v rezistenci jsou velmi malé (kolem $0,4\ \Omega/^\circ\text{C}$). Nezbytné jsou tedy speciální obvody pro měření takhle malých změn v teplotě. Jedna z hlavních nevýhod odporových teploměrů je jejich nelineární závislost rezistence vůči teplotě. [7]



Obr.4 Odporový teploměr [17]

4.3 Termistory

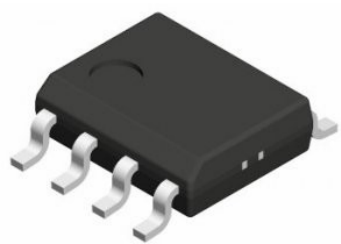
Termistor je CMOS součástka, jejíž rezistence se mění s teplotou. Jedna z výhod termistorů je jejich rychlá odezva a vysoká citlivost. Pro příklad typický termistor může mít rezistenci $50\text{k}\Omega$ při teplotě 25°C , ale při teplotě 85°C má rezistenci již pouze $2\text{k}\Omega$. Stejně jako u odporových teploměrů, termistorem prochází proud a měří se výsledné napětí. Termistory jsou velmi nelineární součástky a odvozování hodnot z tabulek je nejčastější způsob k převodu naměřeného napětí na teplotu. Termistory jsou velmi malé, z čehož také plyne jedna z jejich hlavních nevýhod. Termistory se mohou větším procházejícím proudem sami zahřívat. Tím roste teplota senzoru, což vede k udávání chybných naměřených hodnot. [7]



Obr.5 Termistor [17]

4.4 Integrované obvody s teplotními senzory

Integrované obvody s teplotními senzory jsou nejčastěji 3 nebo 8-mi pinové aktivní součástky, které pro svoji činnost potřebují napájení. Na jejich výstupu sledujeme napětí, které přímo vede k určení teploty. V podstatě se používají dva typy IO s teplotními senzory: Analogové senzory, což jsou většinou 3-pinové součástky, které na svém výstupu udávají analogové napětí (typicky $10\text{mV}/^\circ\text{C}$), které vede přímo k určení teploty. Dále jsou to digitální teplotní senzory s 8-mi nebo 9-ti bitovým sériovým digitálním datovým výstupem, který přímo udává hodnotu teploty. [7]



Obr. 6 Integrovaný obvod s teplotním senzorem [17]

Další provedení teploměrů:

Plynové teploměry - Zde se k měření teploty využívá závislost tlaku plynu, kdy objem plynu zůstává stejný. [8]

Radiační teploměry – Tento typ teploměrů se používá pro měření vysokých teplot. Princip je založen na zákonech tepelného záření. Měří se tedy záření vysílané tělesy do okolí. [8]

Bimetalové teploměry – K měření teploty se používá pásek složený ze dvou kovů, které mají rozdílný teplotní součinitel délkové roztažnosti. Při měření se tento pásek ohýbá. Pohyb pásku se přenáší na ručku přístroje. [8]

Kapalinové teploměry – Zde se využívá teplotní roztažnosti teploměrné kapaliny, jako je rtuť, líh, apod. [8]

5 Ochranné oděvy

5.1 Rozdělení ochranných oděvů

- Pracovní
 - Zásahový
 - Izolační ochranný proti:
 - 1. Chemickým látkám:
 - Skupina A (škodliviny ve všech skupenstvích)
 - Skupina B (pouze škodliviny kapalně a pevně)
 - 2. Agresivním látkám (Obleky Sunit II, III)
 - Plynotěsné:
 - Rovnotlaké (Trelchem Super)
 - Přetlakové (OPCH 90 PO, Vautex SL BD, Trelchem Himex, 700 FP Auer)
 - 3. Sálavému teplu:
 - Lehké (zástěry)
 - Střední (B4,B5,OL 2)
 - Těžké (B3S, Isotemp 4000)
- Speciální ochranné obleky CO proti působení látek:
- A – radioaktivních
 - B – biologických (OPCH 90)
 - C – chemickým (OKOM PO)

[9]

5.2 Forma protichemických ochranných oděvů

5.2.1 Forma A

Jedná se o jednodílný ochranný oblek s kapucí, který tvoří kombinézu. Tento typ ochranných oděvů je určen pro práci s nebezpečnými látkami. Chrání před potřísněním nebo výstřikem chemické látky. Oblek je hladký. Neobsahuje žádné kapsy ani jiné záhyby nebo otvory. Do obleku se vstupuje přes vstupní otvor uzavíraný zdrhovadlem. Na kapuci, rukávech a nohavicích jsou pružné okrajové lemy. (SPLASH 100, 400, 600, 800, Fy Trelleborg). [9]

5.2.2 Forma B

Forma B popisuje jednodílný oblek s kapucí. Oblek je vyroben tak, aby bylo možné nasadit si ochrannou masku s rukavicemi a ochrannou obuví. Dýchací přístroj je připevněn k obleku. Oblek kryje celé tělo kromě obličeje, ten kryje maska. Jednou z výhod je snadná výměna dýchacího přístroje. (SOO CO, Trelchem Super). [9]

5.2.3 Forma C

Do této formy patří velkoobjemové stříhy obleků, které tvoří přetlakový systém. Dýchací přístroj je umístěn pod oblekem. Uvnitř obleku vzniká přetlaková atmosféra 300 – 500Pa,

tvořena z vydechovaného plynu. Hlavní výhodou těchto obleků je vyšší ochranná schopnost obleku. Mezi nevýhody patří nižší výhled, velký objem, snížený volný pohyb, úzké průlezy, špatná manipulace s dýchacím přístrojem a obtížné odečítání tlaku. [9]

5.3 Materiály na ochranné protichemické oděvy

PF - Fluorkaučuk - Viton

IIR - Butylkaučuk - Butyl

PVC - Polyvinylchlorid - PVC

CR - Chloroprenový kaučuk - Neopren

PTFE - Polytetrafluoretylen - Teflon

CSM - Chlorsulfonovaný kaučuk - Hypalon

[9]

Spoje u ochranných obleků jsou svařované nebo lepené, kdy spoj je ještě přelepen izolačním pásem materiálu. [9]

Nosný materiál, tzv. kostra, je realizována pomocí polyamidových vláken, na které jsou vně i vnitřně nanášeny vrstvené materiály. [9]

5.4 OPCH 90 –PO

OPCH90 – PO se řadí mezi protichemické přetlakové oděvy s klasifikací odolnosti proti chemikáliím podle ČSN 465 a 466. Patří mezi oděvy určeny normou C, což znamená, že je oblek určen pro práci s dýchacím přístrojem umístěným pod oblekem. Proti vniknutí agresivních látek je oblek jistěn mírným vnitřním přetlakem (max. 0,4kPa). Oblek tvoří jednoduchá kombinéza vyrobená z oboustranně butylkaučukem opřezovaná tkanina s retardérem hoření. Kombinéza je pevně spojena s kapucí, která je opatřena velkoplošným zorníkem z polymethylmetakrylátu. [9],[16]

Nohavice kombinézy jsou od úrovně lýtek zdvojeny, přičemž vnitřní část, všitá do nohavic, je uzavřena a vytváří tzv. dupačky. V levé části je od temene hlavy až po levé koleno plynotěsný zip, který se po zapnutí překryje po celé délce chlopní. Chlopně jsou ze stejného materiálu jako celý oblek. Samotný plynotěsný zip nesmí být vystaven přímému působení kyselin a hydroxidu amonnému. Do kapuce jsou v zadní části vsazeny dva výdechové ventily s krytkami z plastu a z opřezované tkaniny. Uvnitř oděvu jsou navíc zabudovány pružné šle, které po přetažení přes záda usnadňují nošení oděvu a pohyb na pracovišti. [9]

K ochrannému obleku OPCH – 90 PO se používají speciální vysoké holínky s protiskluzovou podrážkou, určené do chemicky agresivního prostředí. Tyto holínky ochraňují dolní končetiny uživatele proti parám a plynům. Holínky se obouvají tak, že se nejprve uváží nártové tkanice, poté se obují holínky na dupačky a nakonec se přetáhne vnější část nohavic přes holínky. Tím se zamezí vniknutí kapalin do holínek. Holínky jsou vyrobeny z PVC s antistatickou úpravou a ocelovou výztuží v podešvi a ve špičce. [9],[16]

V neposlední řadě patří k obleku pětiprsté rukavice vyrobeny z butylkaučuku. Slouží k ochraně rukou před účinky chemických, biologických a radioaktivních látek. Pod samotné rukavice se ještě navlékají podvlékací rukavice z pleteniny s fyziologickými účinky. Rukavice se nasazují na plastový rukávový kroužek a poté se přes pryžové rukavice přetáhnou manžetou a zajistí pružnými páskami. [9],[16]

Oblek se vyrábí v univerzální velikost pro osoby do výšky 200 cm a hmotnosti 100 kg. Hmotnost obleku je cca 6,5 kg. [9],[16]

OPCH - 90 PO



Obr. 7 Protichemický ochranný oblek OPCH – 90 PO. [9]

6 Činnost v protichemickém ochranném obleku

Jakákoliv činnost v ochranném obleku je velmi namáhavá a vysilující. Při zásahu rychle vzrůstá stres a únava, což má negativní vliv jak na fyzický, tak psychický stav uživatele. Hasiči, kteří vyjíždějí na zásahy, při nichž dochází ke styku s nebezpečnou látkou, musí být v dobré fyzické i psychické kondici. Samotný oblek váží přibližně 10kg, stejně tolik váží i dýchací zařízení. Minimálně jednou za 6 měsíců musí člověk zasahující v ochranném obleku projít speciálním výcvikem. Tím se zjistí, jak na tom je daný hasič s kondicí, jakou má spotřebu kyslíku a vyzkouší si pohyb v obleku. Všeobecně platí, že osobě pracující v ochranném obleku by měl být zajištěn po ukončení činnosti odpočinek nejméně v trojnásobné délce doby nasazení. Hlavním faktorem, který dělá zásahy v protichemických oblecích nejnáročnější, je právě izolovanost obleku. Nemůže se odpařovat pot a dochází k přehřátí organismu, díky čemuž může vzniknout úpal. Také dochází k dehydrataci, protože absorbované tekutiny se většinou nestačí zpracovat a jsou rychle vypoceny. Při zásazích se mohou vyskytovat závratě, rozostřené vidění a silné migrény. Doba činnosti v protichemickém obleku je časově omezena jak kapacitou dýchacího zařízení (30 až 120minut), tak teplotou uvnitř obleku. Například při okolní teplotě 30°C se doba vykonávané činnosti omezuje na 20 minut. Částečně se tomu dá bránit ochlazovacími návleky nebo ventilačními jednotkami. Oblek je většinou vyroben z odolných kombinací tkaniny a kaučuku, kde je zabezpečeno, že při malých trhlinách bodového charakteru dojde k samovolnému zatažení do doby, než bude možná oprava. [10],[11]

Činnost je ztížena také omezeným periferním viděním skrze zorník, který se může navíc zamlžovat. Při práci ve skupině musí být zabezpečen vizuální kontakt. Zasahující musejí pracovat minimálně ve dvou, kdy si vzájemně kontrolují operaceschopnost, jako je komunikace, zdravotní stav nebo únava. Osoby zasahující v protichemickém obleku by si neměli v žádném případě lehat, sedat si, nebo se zbytečně něčeho dotýkat. Činnost musí být vždy metodická a promyšlená, nikoli zmatečná a nekoordinovaná. [10],[11]

7 Konkrétní senzory teploty

7.1 AD7314

AD7314 je kompletní monitorovací systém teploty v MSOP provedení s osmi vstupy. Obsahuje teplotní čidlo a 10-ti bitový analogově/digitální převodník ke sledování a digitalizaci teploty s rozlišením 0,25°C. AD7314 má flexibilní sériové rozhraní, které umožňuje snadné spojení s většinou mikrokontrolérů. Rozhraní je kompatibilní s SPI, QSPI a Microwire protokoly. Rovněž je kompatibilní s DSP. V pohotovostním režimu jsou všechny části ovládány přes sériové rozhraní. Díky nízkému napájecímu proudu a SPI rozhraní je AD7314 ideální pro řadu aplikací, včetně osobních počítačů a domácích spotřebičů. [14]

Napájecí napětí		od 2,65V do 5,5V
Napájecí proud	pracovní (neaktivní)	250μA(norm.)
		300μA(Max.)
	pracovní (aktivní)	1,2μA (Norm.)
	vypínací	1μA(norm.)
Teplotní odchylka	-35°C až 85°C(Vdd = 2,65V až 2,9V)	±2°C(Max.)
	-35°C až 85°C(Vdd = 3V až 5,5V)	±1°C(Max.)
Rozlišení		0,25°C
Rozlišení ADC		10 bitů
Teplotní rozsah		-35°C až 85°C
Čas konverze teploty		25μs

Tab.2 Tabulka nejdůležitějších hodnot senzoru AD7314. [14]

7.2 ADT74111

ADT74111 kombinuje 10-ti bitový digitalizér teploty a 10-ti bitový 8-mi kanálový analogově/digitální převodník v QSOP provedení s 16-ti vstupy. ADT74111 obsahuje teplotní čidlo a 10-ti bitový analogově/digitální převodník ke sledování a digitalizaci teploty v rozlišení 0,25°C. ADT74111 pracuje na napájecím napětí od 2,7 do 5,5V. Vstupní napětí na ADC má rozsah od 0 do 2,25V. ADT7411 poskytuje dvojí možnost sériového rozhraní: 4-vodičové sériové rozhraní kompatibilní s normami SPI, QSPI, Microwire a DSP, nebo dvou vodičové SMBus/I2c rozhraní. Je také vybaven pohotovostním režimem, který je ovládán přes sériové rozhraní. ADT7411 je díky širokému rozsahu napájecího napětí, nízkou spotřebou proudu a SPI/I2C kompatibilním rozhraním ideální pro různé aplikace, včetně osobních počítačů a domácích spotřebičů. [13]

Napájecí napětí		od 2,7V do 5,5V
Napájecí proud	Pracovní (Vdd = 3,3V)	3mA(Max.)
	Pracovní (Vdd = 5V)	2,2mA(Norm.)
	Pracovní (Vdd = 5V)	3mA(Max.)
	vypínací (Vdd = 3,3V)	10 μ A(Max.)
	vypínací (Vdd = 5V)	10 μ A(Max.)
Teplotní odchylka	85°C (Vdd = 3,3V)	$\pm 1,5^\circ\text{C}$ (Max.)
	0°C až 85°C (Vdd = 3,3V)	$\pm 3^\circ\text{C}$ (Max.)
	-40°C až 120°C (Vdd = 3,3V)	$\pm 5^\circ\text{C}$ (Max.)
	0°C až 85°C (Vdd = 5V)	$\pm 3^\circ\text{C}$ (Max.)
	-40°C až 120°C (Vdd = 5V)	$\pm 5^\circ\text{C}$ (Max.)
Rozlišení		0,25°C
Rozlišení ADC		10 bitů
Teplotní rozsah		-40°C až 120°C
Čas konverze teploty	Pomalý ADC - Vnitřní teplota	712 μ s
	- Vnější teplota	1,51ms
	Rychlý ADC - Vnitřní teplota	134 μ s
	- Vnější teplota	890 μ s

Tab.3 Tabulka nejdůležitějších hodnot senzoru ADT74111. [13]

7.3 LM92



Obr.8 LM92 [17]

LM92 je digitální teplotní senzor a komparátor teplotních rozsahů s I2C sériovou linkou a přesností $\pm 0,33^\circ\text{C}$. Architektura komparátoru teplotních rozsahů LM92 usnadňuje návrh systémů s regulací teploty. „Otevírací-vypouštěcí přerušení“ (INT) výstup se aktivuje vždy, když se měřená teplota dostane mimo nastavený teplotní rozsah, zatímco samostatný alarm kritické teploty (T_CRIT_A) je aktivní, až když teplota překročí předem naprogramovanou kritickou mez. INT výstup může pracovat buď jako komparátor nebo v událostním režimu, zatímco výstup T_CRIT_A pracuje pouze v režimu komparátoru. Hostitel může programovat jak horní, tak dolní hranici rozsahu, stejně jako kritickou mez teploty. Dva piny (A0, A1) jsou k dispozici pro výběr adresy. LM92 lze napájet napětím v rozsahu od 2,7 do 5,5V. Obsahuje sériové rozhraní, 12-ti bitový analogově/digitální převodník s rozsahem teploty přes 128°C. Díky těmto vlastnostem je ideální pro širokou škálu aplikací, jako jsou: systémy pro

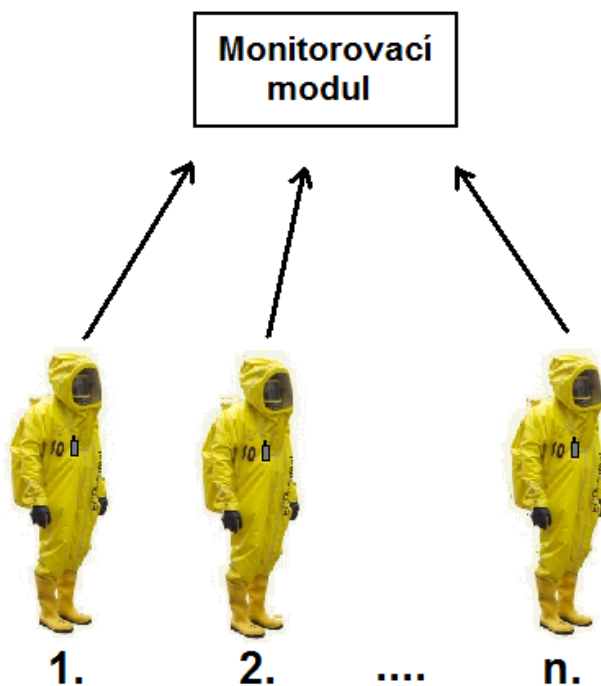
monitorování a ovládání teplot, ochranné systémy pro osobní počítače, elektronické testovací zařízení, automobilový průmysl nebo lékařské a HVAC aplikace. [12]

Napájecí napětí		od 2,7V do 5,5V
Napájecí proud	pracovní	350 μ A(norm.)
		625 μ A (Max.)
	vypínací	5 μ A(norm.)
Teplotní odchylka	30°C	$\pm 0,33^\circ\text{C}$ (Max.)
	10°C až 50°C	$\pm 0,50^\circ\text{C}$ (Max.)
	-10°C až 85°C	$\pm 1,0^\circ\text{C}$ (Max.)
	125°C	$\pm 1,25^\circ\text{C}$ (Max.)
	-25°C až 150°C	$\pm 1,5^\circ\text{C}$ (Max.)
Linearita		$\pm 0,5^\circ\text{C}$ (Max.)
Rozlišení		0,0625°C
Rozlišení ADC		13bitů
Teplotní rozsah		-55°C až 150°C

Tab.4 Tabulka nejdůležitějších hodnot senzoru LM92. [12]

8 Návrh

Aby bylo naplněno zadání této práce, musí se praktický výrobek skládat z několika částí. Z části monitorovací a několika částí měřících. Úkolem monitorovací části je bezdrátově sledovat teplotu v protichemických oblecích zasahujících hasičů. Uživatel, tedy velící zásahu, tak má možnost přepínat mezi jednotlivými hasiči a sledovat jejich teplotu. Také má možnost si nastavit jistou hraniční teplotu, po jejíž překročení bude upozorněn on i daný zasahující hasič.



Obr.9 Návrh monitorování dat

Měřící část odesílá monitorovací části teplotu, kterou neustále měří. Pokud je překročena teplota, kterou nastavil velitel zásahu, je na tuto událost hasič upozorněn. Jelikož je modul umístěn uvnitř obleku, má co nejmenší velikost, proto je potřebné uvážit i jeho umístění uvnitř obleku.



Obr.10 Návrh alarmu

Pro upozornění hasiče je z modulu vyvedena na vodiči červená LED, která se v případě akutního stavu rozsvítí. Z hlediska umístění měřicího modulu nemá tento modul akustický alarm, který by nemusel být dostatečně slyšet, nebo by naopak mohl hasiče rušit, nebo znepříjemňovat radiovou komunikaci mezi ostatními hasiči.

9 Telemetrická část

Mikroprocesor CC2430 byl navržen především pro aplikace ZigBee, tedy aplikace pracující na standardu IEEE 802.15.4. Samotný CC2430 má v sobě integrovanou vysoce výkonnou radiofrekvenční část pro vysílání i příjem. CC2430 byl světově prvním dostupným systémem pracujícím na frekvenci 2,4Ghz a protokolu ZigBee.

9.1 CC2430



Obr. 11 Dva moduly CC2430 s připevněnými anténami. [15]

CC2430 je dodáván ve třech různých verzích: CC2430-F32/64/128, to znamená s 32/64/128KB Flash paměti. Tento chip je speciálně přizpůsobený pro IEEE 802.15.4 a ZigBee aplikace. Kombinuje RF vysílač s MCU 8051, 23/64/128KB flash paměti, 8KB RAM a mnoha dalšími vlastnostmi. Je specifický zvláště svoji nízkou spotřebou způsobenou mnoha provozními režimy a krátkou dobou mezi jejich přechody. [15]

Mezi nejdůležitější vlastnosti patří:

- Obsahuje optimalizované mikroprocesorové jádro 8051, které je 8x výkonnější než běžná jádra 8051.
- 2,4 Ghz IEEE 802.15.4 RF kompatibilní vysílač
- 32,64 nebo 128KB vestavěné programovatelné Flash paměti. Minimálně 1000krát přepsatelná.
- 8 KB RAM, přitom 4 KB SRAM, která uchovává data ve všech režimech napájení.
- Výkonné funkce DMA
- Pouze jeden krystal pro bezdrátové síťové systémy.
- Pro systémové hodiny je na výběr 16MHz RC oscilátor nebo 32Mhz krystalový oscilátor.
- Nízká spotřeba proudu (RX: 27mA, TX: 25mA, při frekvenci mikrokontroleru 32MHz)
- Spotřeba proudu 0,9μA v napájecím režimu power-down, kdy vnější přerušení nebo přetečení čítače dokáže probudit systém.

- Spotřeba menší než $0,6\mu\text{A}$ v napájecím režimu stand-by, kdy vnější přerušení dokáže probudit systém.
- CSMA/CA podpora hardwaru
- Rozsah napájecího napětí $2 - 3,6\text{V}$
- Digitální RSSI/LQI podpora
- Analogově digitální převodník s osmi vstupy a nastavitelným rozlišením.
- AES bezpečnostní koprocessor
- Dva programovatelné USART pro master/slave SPI nebo UART operace.
- Skutečný generátor náhodných čísel.
- Programovatelný časovač Watchdog
- Jeden IEEE 802.15.4 MAC časovač, jeden 16-ti bitový čítač/časovač a dva 8-mi bitové čítače/časovače.
- 21 Vstupně/výstupních pinů.

[15]

MCU aktivní mód, statický	492	μA	Spuštěný dig. regulátor, Vysokofrekvenční RCOSC zapnutý, Vypnuté rádio, krystaly a vedlejší obvody
MCU aktivní mód, dynamický	210	$\mu\text{A/Mhz}$	Zapnutý dig. regulátor, Vysokofrekvenční RCOSC zapnutý, Vypnuté rádio, krystaly a vedlejší obvody
MCU aktivní mód, nejvyšší rychlost	7	mA	MCU běží na max. rychlosti (32MHz), 32Mhz XOSC zapnutý. Vypnuté vedlejší obvody.
MCU aktivní a RX mód	27	mA	MCU běží na max. rychlosti (32MHz), 32Mhz XOSC zapnutý, rádio je v RX módu. Vypnuté vedlejší obvody.
MCU aktivní a TX mód, 0dBm	24,7	mA	MCU běží na max. rychlosti (32MHz), 32Mhz XOSC zapnutý, rádio je v TX módu. Vypnuté vedlejší obvody.
Napájecí mód 1	296	μA	Spuštěný dig. regulátor, Vysokofrekvenční RCOSC a XCOSC vypnuté, 32.768Khz XOSC, POR a ST aktivní. RAM omezena.
Napájecí mód 2	0,9	μA	Spuštěný dig. regulátor, Vysokofrekvenční RCOSC a XCOSC vypnuté, 32.768Khz XOSC, POR a ST aktivní. RAM omezena.
Napájecí mód 3	0,6	μA	Vypnuty hodiny. RAM omezena. Reset aktivní
Časovač 1	10	$\mu\text{A/Mhz}$	Pokud je spuštěný
Časovač 2	10	$\mu\text{A/Mhz}$	Pokud je spuštěný
Časovač 3	10	$\mu\text{A/Mhz}$	Pokud je spuštěný
Časovač 4	10	$\mu\text{A/Mhz}$	Pokud je spuštěný
Spánková časovač	0,5	μA	Běží úsporný RC oscilátor nebo 32,768kHz XOSC.
AES	50	$\mu\text{A/Mhz}$	Při šifrování/dešifrování
ADC	0,9	mA	Při převodu
USART1/USART2	12	$\mu\text{A/Mhz}$	Pro každou USART zvlášť. Neobsahuje proud pro ovládání V/V pinů.
DMA	30	$\mu\text{A/Mhz}$	Když pracuje, neobsahuje proud pro přístup do paměti.
Flash zapisovač	3	mA	

Tab.5 Tabulka s hodnotami spotřeby proudu jednotlivých částí a režimů. [15]

9.2 ZigBee

ZigBee je bezdrátová komunikační technologie, která se stejně jako Bluetooth, řadí mezi bezdrátové sítě PAN (Personal Area Networks). Technologie ZigBee je vystavěna na standardu IEEE 802.15.4. Díky své velmi nízké spotřebě energie, nenáročným implementacím a spolehlivosti se uplatňuje především v automatizaci a řídicí technice. Dosah této sítě je v závislosti na terénu, kterým se signál šíří, 10 až 50 metrů. Jednotlivá zařízení spolu mohou komunikovat i bez přímé radiové viditelnosti. S počtem překážek však klesá vzdálenost dosahu signálu.

Zigbee pracuje v pásmech 868Mhz, 902-928Mhz a 2,4Ghz a s přenosovou rychlostí 20, 40, 250kbit/s.

Zigbee je jednoduchá technologie pro aplikace, kde není potřeba přenášet velký objem dat, proto se v praxi používá v :

- Automatizaci budov (zabezpečení, ovládání světel, kontrola přístupu)
- Spotřební elektronice (dálková ovládání elektrospotřebičů)
- Počítačových periferiích (bezdrátové myši, klávesnice)
- Průmyslové automatizaci
- Zdravotnictví (pacientské monitory)

Standard ZigBee byl navržen pro implementaci i do 8mi bitových mikrokontrolérů, díky čemuž velikost struktury protokolů nepřesahuje 30kB programové paměti. Protokol ZigBee se skládá ze tří vrstev, tj. vrstvy standardu IEEE 802.15.4, síťová vrstva (NWK) a aplikační vrstva (APL). [18]

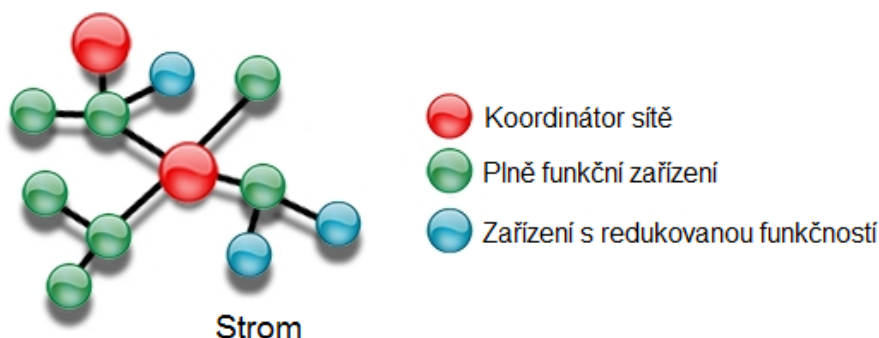
Technologie ZigBee definuje tři základní síťové topologie.

a) Hvězdicová topologie



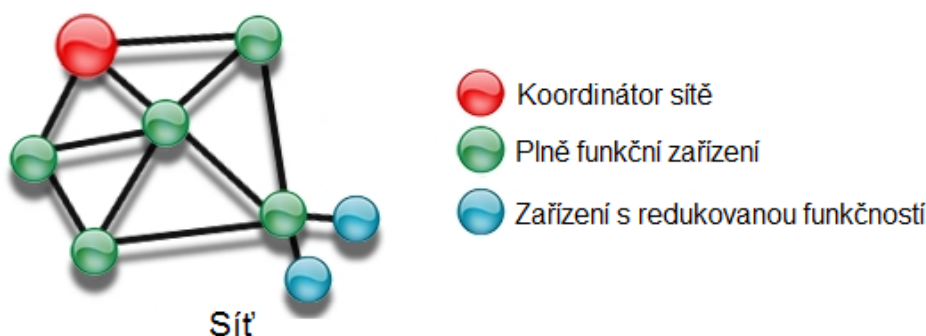
Obr.12 Hvězdicová topologie sítě ZigBee [19]

b) Stromová struktura



Obr.13 Stromová topologie sítě ZigBee [19]

c) Topologie „sítě“ (mesh)



Obr.14 Síťová topologie sítě ZigBee [19]

Koordinátor zakládá a spravuje síť, včetně přidělení PAN ID. Zařízení s redukovanou funkcí slouží jako směrovač a plně funkční zařízení je koncové zařízení. Každé zařízení v síti má svoji vlastní adresu sestávající z 64 bitového binárního kódu. Samostatná síť je pak identifikována 16ti bitovým PAN ID. PAN ID slouží k rozlišení jednotlivých sítí založených na standardu IEEE 802.15.4, které se překrývají. [18]

9.3 Realizace monitorovací části

Monitorovací část je tvořena vývojovou deskou Smart RF04 a z hlediska telemetrické části pracuje převážně jako přijímač.

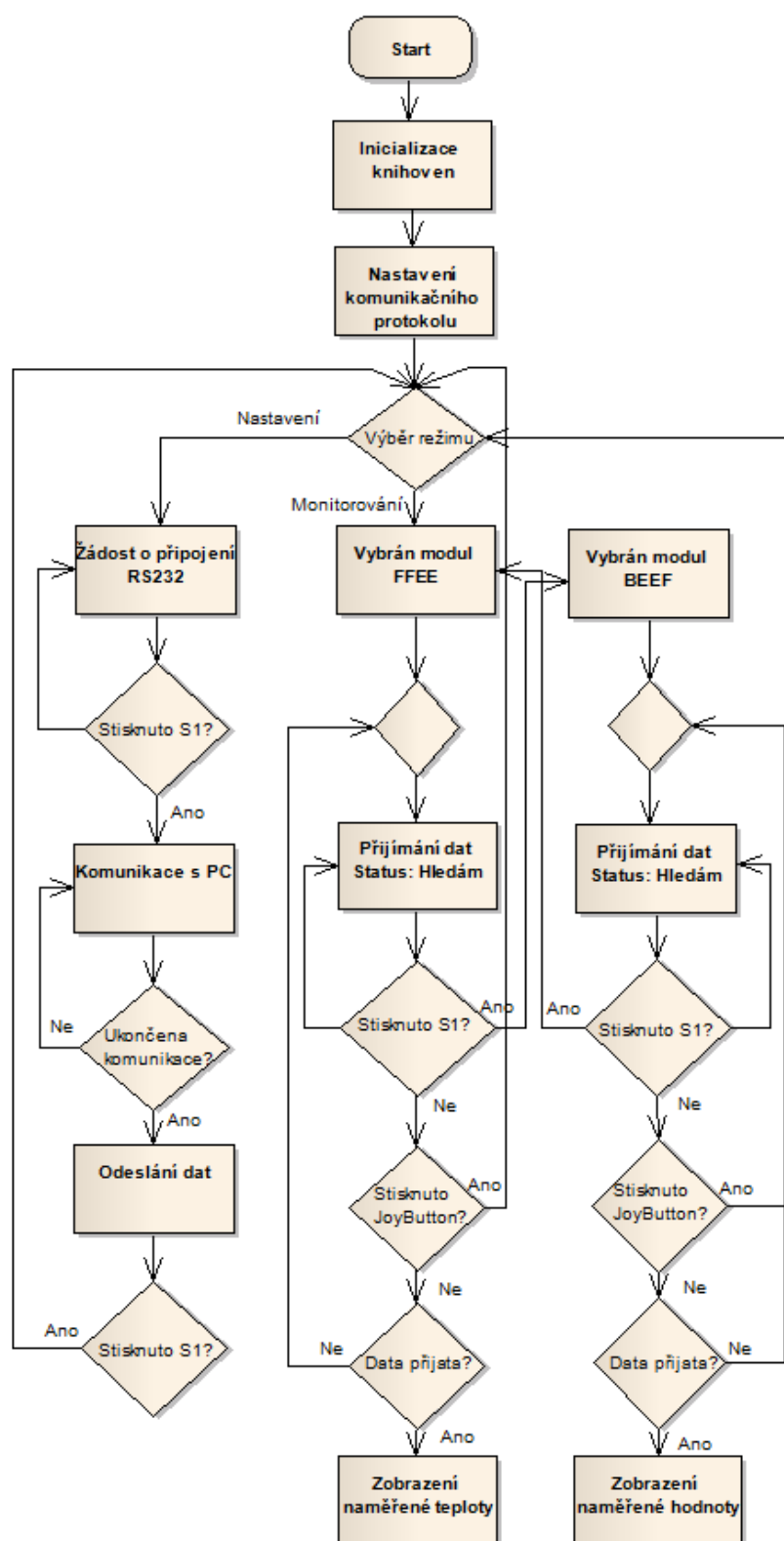
9.3.1 Monitorovací část jako přijímač

Hlavním úkolem monitorovací části je přijímat a zobrazovat naměřená data z měřicích modulů. Jak při monitorování teploty, tak stavu baterie, uživatel přepíná mezi adresami,

z kterých chce momentálně přijímat data. Zjednodušeně řečeno si volí měřicí modul, který bude sledovat. Pokud je daný měřicí modul aktivní, přijímá z něj řetězec znaků, který obsahuje naměřenou teplotu i stav baterie. Podle režimu, který je v danou chvíli nastaven, je z přijatého řetězce buďto zobrazena informace o aktuální změřené teplotě, nebo o napětí na baterii měřicího modulu. Tyto informace se v intervalech menších než jedna sekunda aktualizují. Po přepnutí na jiný modul se přijímač inicializuje na sledování jiné adresy.

9.3.2 Monitorovací část jako vysílač

Monitorovací část funguje v jisté chvíli i jako vysílač. Tento stav nastane při nastavení jmen modulů a kritické teploty. V takovém případě se inicializuje rádiová část jako vysílač, a začne odesílat hodnotu s nastavenou kritickou teplotou.



Obr.15 Zjednodušený vývojový diagram monitorovací části pouze se dvěma monitorovanými jednotkami a bez sledování stavu baterie

9.4 Realizace měřicí části

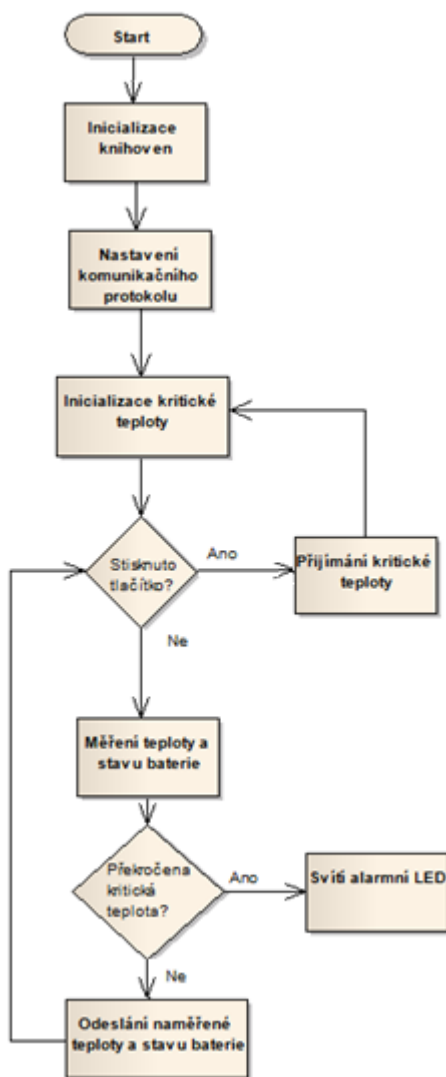
Měřicí modul je tvořen mikropočítačem CC2430 s RF anténou, senzorem teploty, alarmní a stavovou LED a bateriemi.

9.4.1 Měřicí modul jako vysílač

Měřicí modul, až na výjimku, pracuje z telemetrického hlediska jako vysílač. Modul vysílá řetězec znaků s naměřenou teplotou a napětím na své baterii.

9.4.2 Měřicí modul jako přijímač

Pokud na monitorovacím okruhu nastavujeme kritickou teplotu, v určité době nás monitorovací modul požádá, abychom měřicí modul přepnuli do stavu přijímače. V tomto stavu měřicí modul setrvává do doby, než je přijata hodnota s kritickou teplotou. Poté se opět vrací do vysílacího režimu.



Obr.16 Vývojový diagram měřicího modulu

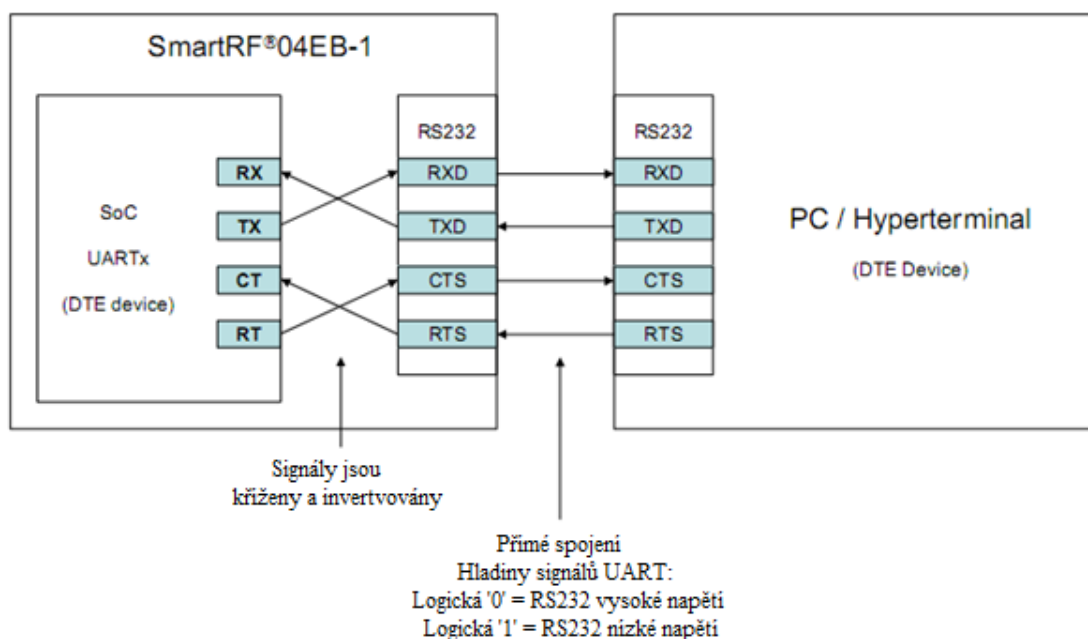
Celá bezdrátová komunikace je realizována pomocí knihoven *basicRf* a *hal*, které jsou zdarma k dispozici od Texas instruments. Funkcí *basicRfConfig* se nejdříve nastaví identifikační číslo PAN, kanál a adresa daného zařízení. Dále funkcí *halRf* proběhne inicializace. Pro odesílání dat slouží funkce *basicRfSendPacket*, pro příjem dat *basicRfReceive*. Díky těmto knihovnám a funkcím je ovládání bezdrátového přenosu dosti ulehčeno.

10 Návrh a realizace komunikace s PC

10.1 Způsob komunikace

Komunikace s osobním počítačem se v této práci využívá k nastavení jmen měřicích modulů a k nastavení kritických hodnot teploty a probíhá přes sériovou linku RS232.

Jelikož je monitorovací modul tvořen vývojovou deskou Smart RF04EB, která již obsahuje konektor pro připojení RS232, stačí pouze kabelem spojit modul s počítačem. Pro komunikaci s PC je nejvhodnější použít program HyperTerminal, který je u starších verzí MS Windows součástí systému, nebo lze snadno stáhnout zdarma z internetu.



Obr.17 Propojení pinů při SmartRF04Eb s PC pomocí RS232 [20]

10.2 Nastavení RS232

Mikroprocesor CC2430 lze pro komunikaci přes RS232 nastavit několika způsoby.

10.2.1 BaudRate

Mikroprocesor generuje rychlost přenosu podle nastavených hodnot BAUD_M, BAUD_E a F, kde BAUD_M je 8mi-bitová hodnota, BAUD_E je 5ti bitová hodnota a F je frekvence systémových hodin.

Podle následujícího vzorce lze zjistit, jaké hodnoty pro výše zmíněné registry volit.

$$Baudrate = \frac{(256 + BAUD_M) \cdot 2^{BAUD_E}}{2^{28}} \cdot F \quad (1)[20]$$

Kromě výpočtu se dají hodnoty BAUD_M a BAUD_E zjistit z tabulek s běžně používanými hodnotami pro danou frekvenci procesoru.

Baud rate (bps)	UxBAUD.BAUD_M	UxGCR.BAUD_E	Error (%)
2400	59	6	0.14
9600	59	8	0.14
57600	216	10	0.03
115200	216	11	0.03
230400	216	12	0.03

Tab.6 Hodnoty pro nastavení rychlosti sériové linky při frekvenci systémových hodin 32Mhz [20]

10.2.2 Nastavení protokolu pro komunikaci

Dále se nastavují jednotlivé bity registrů určených pro sériovou komunikaci.

Lze nastavit:

Údaj	Možnosti
Úroveň startbitu	low/high
Úroveň stopbitu	low/high
Počet stopbitů	1..11
Parita	zap./vyp.
9.bit	zap./vyp.
Úroveň 9.bitu	low/high
Kontrola toku	zap./vyp.
Pořadí bitů	MSB první/ LSB první

Tab.7 Možnosti nastavení komunikačního protokolu sériové linky

10.2.3 Nastavení pinů

Propojení jednotlivých pinů s konektorem RS232 lze vybrat z několika možností.

Periphery / Function	P0								P1								P2				
	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	4	3	2	1	0
USART0	Alt 1			RT	CT	TX	RX														
	Alt 2											TX	RX	RT	CT						
UART1	Alt. 1			RX	TX	RT	CT														
	Alt 2								RX	TX	RT	CT									

Tab.8 Možné použití pinů pro sériovou komunikaci [20]

Kde

RX = **Receive Data** - Tok dat z modemu do terminálu

TX = **Transmit Data** - Tok dat z terminálu do modemu

RT = **Request to Send** - Terminál oznamuje modemu, že je komunikační cesta volná

CT = **Clear to Send** - Modem oznamuje terminálu, že je komunikační cesta volná

10.3 Realizace

V této práci je nastavení protokolu pro komunikace následující:

Údaj	Hodnota
Úroveň startbitu	low
Úroveň stopbitu	high
Počet stopbitů	1
Parita	zap.
9.bit	vyp.
Úroveň 9.bitu	-
Kontrola toku	vyp.
Pořadí bitů	LSB první

Tab.9 Použité nastavení protokolu sériové linky

Rychlost přenosu je **11 5200 baudů**. Hodnota **BAUD_M** byla zvolena a hodnota **216** a **BAUD_E 11**.

Piny procesoru jsou s konektorem RS232 propojeny:

RX = P0_2

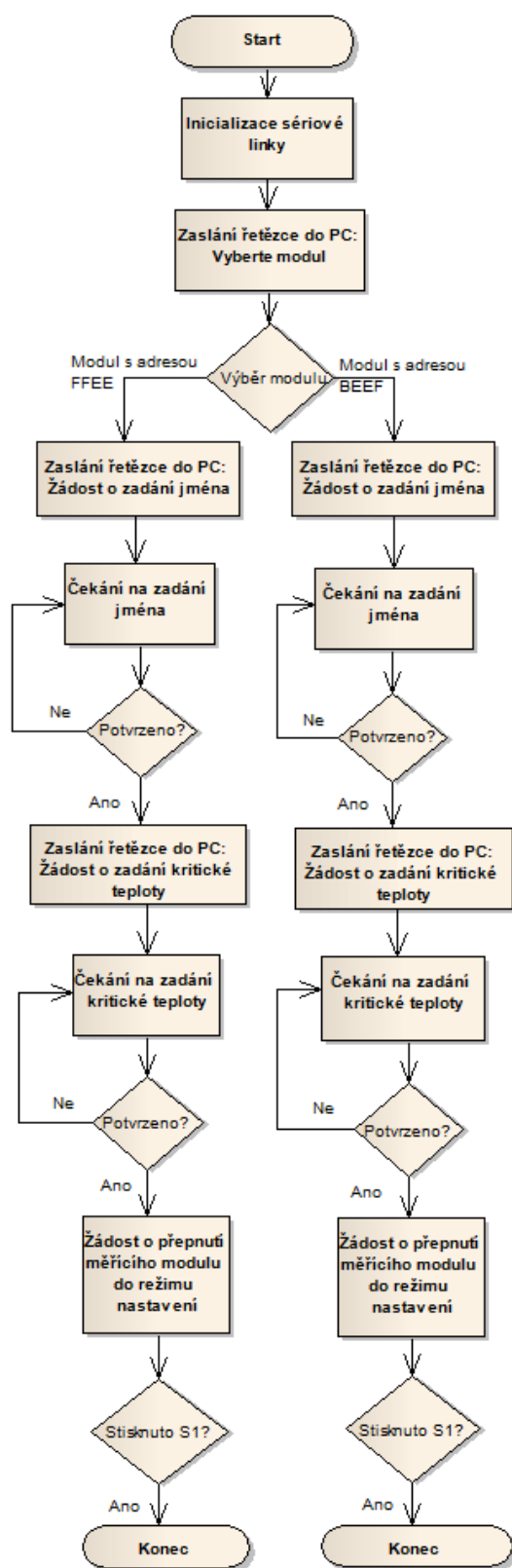
TX = P0_3

CT = P0_4

RT = P0_5

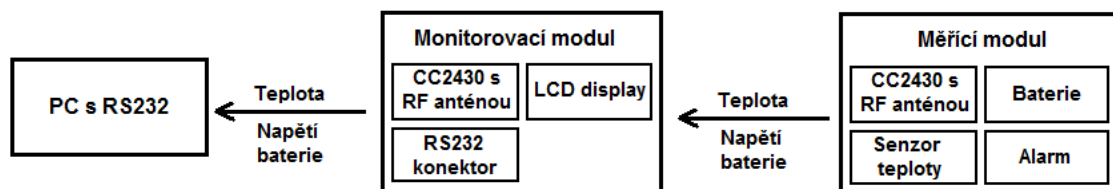
10.4 Popis samotné komunikace

Následující vývojový diagram ukazuje, jak probíhá část programu, kdy počítač komunikuje se sériovou linkou. Schéma je zjednodušené na pouze dva měřicí moduly. Popisovaná část programu začíná poté, co uživatele program vyzve, aby spojil kabelem pro RS232 počítač s monitorovacím modulem, a ten jej potvrdí. Po skončení této části programu se uživatel nachází opět v hlavní nabídce.

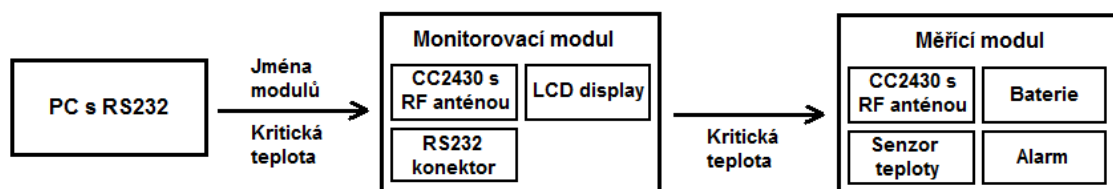


Obr.18 Vývojový diagram nastavení údajů po RS232

Pokud je sériová linka připojena i po dobu monitorování teploty, můžeme naměřenou teplotu sledovat i na monitoru opět pomocí programu HyperTerminal.



Obr.19 Příjem naměřených dat

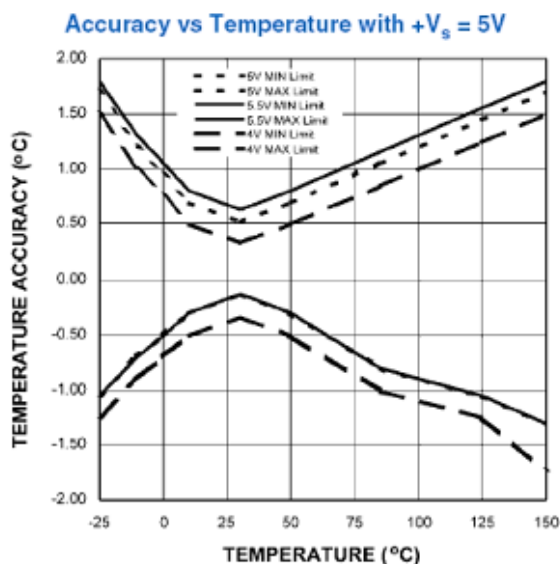


Obr.20 Odeslání nastavených dat

11 Návrh a realizace měření teploty

11.1 Výběr senzoru

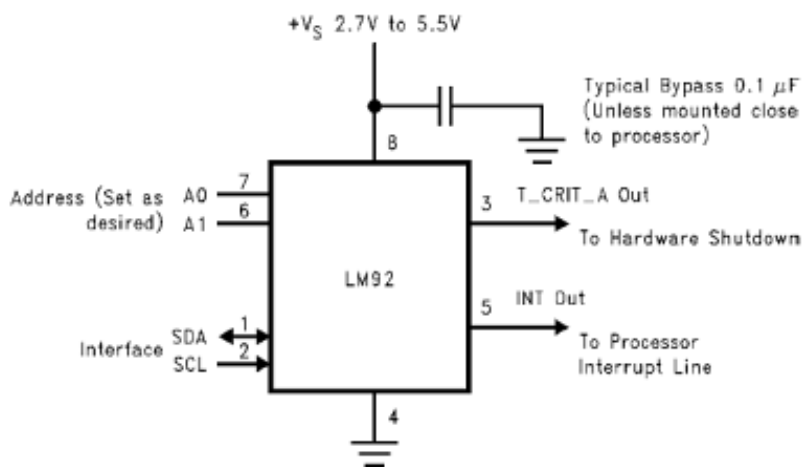
Jako čidlo pro měření teploty byl vybrán výše zmíněný digitální teplotní senzor LM92. Díky jeho nízké spotřebě 350uA a napájecímu napětí od 2,7 do 5,5V je ideální pro účely této práce.



Obr.21 Křivka přesnosti senzoru LM92 v závislosti na teplotě [12]

Na charakteristice přesnosti je vidět, že nejvyšší přesnost, tj. $\pm 0,33^\circ\text{C}$, je v okolí 30°C , což je pro tuhle práci opět ideální. Teplotní senzor komunikuje s řídicí jednotkou, v našem případě mikroprocesorem CC2430, pomocí I2C.

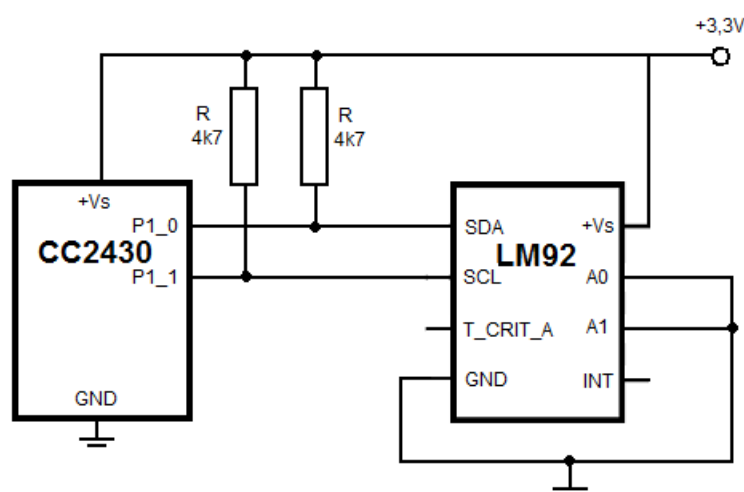
11.2 Popis senzoru



Obr.22 Schéma senzoru LM92 [12]

Piny senzoru A0 a A1 slouží k nastavení adresy dílčího čidla. Jelikož se na každém měřicím modulu nachází pouze jeden LM92, oba adresové piny jsou spojeny se zemí, tedy nastaveny na logickou hodnotu 0. Napájení senzoru je realizováno ze stejného zdroje, jako je napájení mikroprocesoru, tedy z dvou baterií AAA 1,5V zapojených sériově. Piny T_CRIT_A Out a INT Out slouží k upozornění řídicí jednotky na překročení nastavené teploty v senzoru. V této práci je však vyhodnocení a nastavování kritické teploty řešeno uvnitř mikroprocesoru, tudíž tyto dva piny nejsou zapojeny do obvodu.

Piny SDA a SCL slouží pro I2C komunikaci s řídicí jednotkou. V hardwarové části jsou tyto piny spojeny s vstupně/výstupními piny mikroprocesoru a navíc pomocí dvou rezistorů o hodnotách $4,7\text{k}\Omega$, sloužících jako pull-up rezistory, spojeny s napájením.

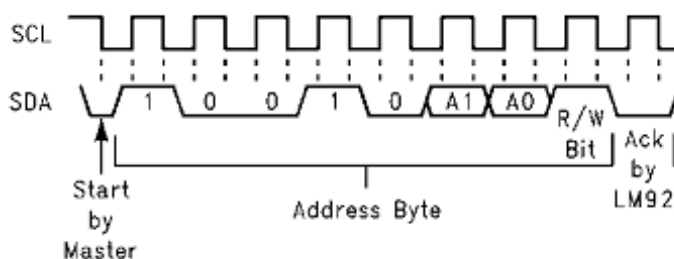


Obr.23 Schéma propojení senzoru LM92 s mikroprocesorem CC2430

11.3 Komunikace mezi senzorem a mikroprocesorem

Jak již bylo zmíněno, komunikace mezi senzorem LM92 a mikroprocesorem CC2430 probíhá přes I2C.

Nejprve je potřeba odeslat senzoru byte s adresou daného senzoru, kterou jsme nastavili pomocí pinů A0 a A1. V našem případě by senzoru zaslán byte o hexadecimální hodnotě 90H.



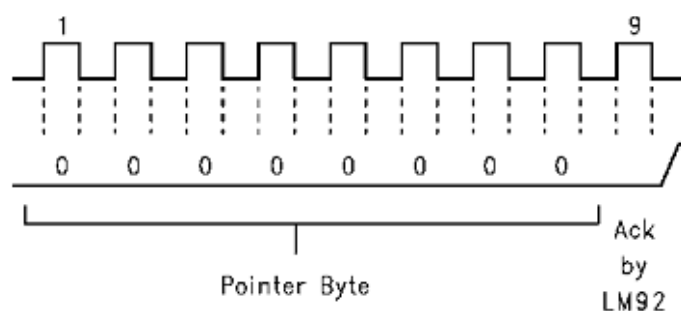
Obr.24 Zaslání adresového bitu [12]

Poté, co senzor stáhne Ack do nuly, zašle se senzoru byte sloužící ke zvolení režimu LM92. Režimy jsou následující:

Režim	Hodnota v bitech
Pouze čtení	00000000
Nastavení operačních módů	00000001
Nastavení T_{hyst}	00000010
Nastavení T_{CRIT}	00000011
Nastavení T_{Low}	00000100
Nastavení T_{HIGH}	00000101

Tab.10 Hodnoty pro výběr režimu senzoru LM92

V této úloze pracuje senzor pouze v režimu čtení teploty. Bude mu tedy zaslán byte o hodnotě 0H



Obr.25 Zaslání příkazu pro čtení [12]

Následně se přijímají ze senzoru dva byty, z nichž 13 nejvyšších bitů je naměřená hodnota a zbylé tři bity nám udávají, jestli byla překročena nějaká z hraničních hodnot. V této práci se opět tyto bity neuvažují.

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Znam.	MSB	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	CRIT	HIGH	LOW
Naměřená teplota													Statusové bity		

Tab.11 Rozložení přijatých bitů ze senzoru LM92

11.4 Vyhodnocení naměřené teploty

Jelikož senzor LM92 obsahuje 12ti-bitový AD převodník, naměřená hodnota teploty je složena z 13ti bitů včetně znaménka. Hodnota nejnižšího bitu je 0.0625°C . Poté již není problém převést naměřené bity na decimální hodnotu teploty ve $^{\circ}\text{C}$.

Například:

$$0\ 0001\ 1001\ 0000_2 = 400_{10} \Rightarrow 400 \times 0.0625 = 25^{\circ}\text{C}$$

12 Napájení a stav baterie měřícího modulu

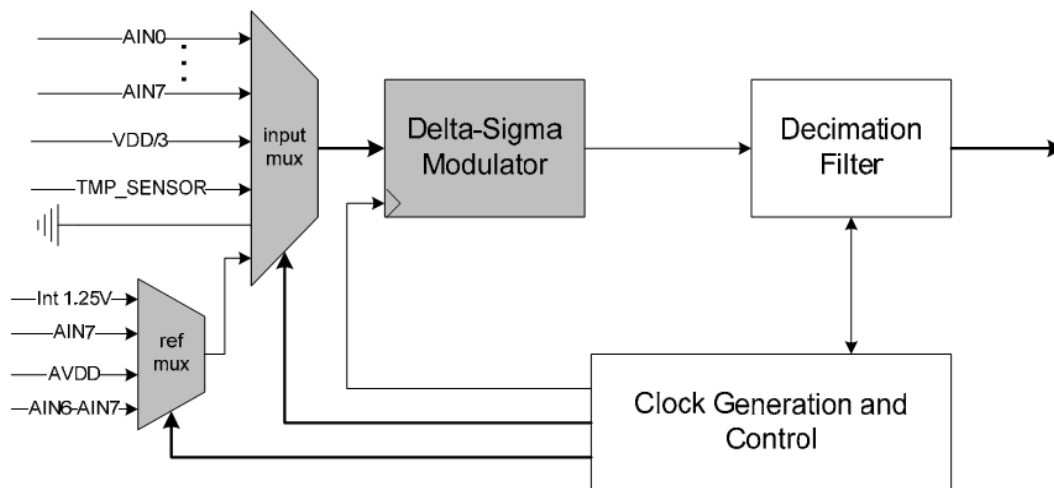
12.1 Výběr akumulátoru

Mikroprocesor CC2430 i teplotní senzor LM92 potřebují stejné napájení, a to ideálně 3,3V. Vzhledem k tomu, že proudový odběr celé aplikace je po většinu doby průběhu 11,7mA, bylo třeba vybrat akumulátor, který splňuje vhodný poměr kapacity ku velikosti ku ceně. Jako vhodný kompromis se nakonec jeví napájení pomocí dvou baterií NiMH typu AAA s napětím jedné 1,5V, jejichž kapacita je až 1000mAh. Měřicí modul tedy při stálém běhu vydrží cca. 85,5h. Výdrž klesá s vyšším proudovým odběrem modulu, který způsobí například rozsvícení LED, oznamující překročení kritické meze teploty. V tomto případě vzroste proudový odběr zhruba dvojnásobně. Je však třeba si uvědomit, že v praxi by takhle situace netrvala dlouho a pokud ano, starost ze zkrácení výdrže baterií by byl až druhořadý problém.

12.2 Stav baterie

Jelikož funkčnost měřícího modulu by mohla mít vliv na životy hasičů, kteří by se na něj spoléhali, nemělo by se dopustit, aby selhala na základě vybití baterií. Ovšem vyměňovat baterie po každém zásahu by bylo značně neekonomické. Z toho důvodu obsahuje monitorovací modul funkci zobrazení aktuálního stavu baterií připojených měřících modulů.

Tato funkce je řešena pomocí AD převodníku, který je součástí periferií CC2430, a lze nastavit pro tuhle činnost. Nastavení probíhá pomocí registru *ADCON2*, kde se vybere referenční generované napětí na hodnotu 1,25V, které přichází do porovnávacího multiplexoru, a ve volbě kanálů se zvolí možnost napětí *VDD/3* ve voltech, vstupujících do referenčního multiplexoru.



Obr.26 Schéma AD převodníku procesoru CC2430 [21]

Platí tedy:

$$\frac{VDD_{max}}{3} = 1,25 \Rightarrow VDD_{max} = 3,75 \quad (2)[21]$$

Pro 12ti bitový AD převodník je hodnota maximálního vstupního napětí do převodníku 2047_{10} .

$$\text{Napětí baterie} = \text{Naměřená hodnota} \cdot \frac{3,75}{2047}$$

Pro zobrazení stavu baterií se uvažuje, že nové, plně nabitě baterie mají 3,3V. Mezní hodnota, kdy ještě mikroprocesor funguje je 2,7V. Jak se baterie vybíjí, klesá postupně napětí, kterým napájí elektrický obvod. Pokud je tedy na baterii napětí 3,3V, na monitorovacím modulu vidíme stav 100%. Poklesne-li napětí na 2,7V, je zobrazen stav baterie jako 0%. Je však potřeba si uvědomit, že napětí poklesne i při jakémkoliv zatížení obvodu, například rozsvícení alarmní LED. Tento pokles však není nijak razantní a opět se bude předpokládat, že tento stav nebude trvat delší dobu. Zobrazovaný stav je spíše orientační. Při zobrazení aktuální hodnota kolísá v rozmezí 0,6%.

13 Realizace alarmu

Jak již bylo zmíněno při návrhu, alarm je tvořen jednou LED, která je vyvedena z měřicího modulu uloženého v oblasti torza záchranáře, a vede do jeho helmy. Tato LED je realizována pomocí diody L-3N4SRD RED, která pod úhlem 60° vyzařuje světlo o svítivosti 100mcd. Na monitorovacím modulu může uživatel vidět upozornění na překročení kritické teploty.

Kritická teplota lze nastavit v rozmezí 0°C do 99,99°C, tedy na maximálně dvě celá a dvě desetinná čísla. Teplotu lze nastavit pro každý modul zvlášť, kdy se může a nemusí lišit od předchozích. Způsob nastavení je popsán v manuálu, který se nachází v příloze práce.

Zobrazení volby možností a naměřených údajů je realizováno LCD displejem na monitorovacím modulu, tedy vývojové desce SmartRF04. Výrobce TI poskytuje knihovnu `hal_lcd.c`, která obsahuje funkce pro inicializaci displeje a zobrazování řetězců.

14 Realizace zobrazování

Zobrazení volby možností a naměřených údajů je realizováno LCD displejem na monitorovacím modulu, tedy vývojové desce SmartRF04. Výrobce TI poskytuje knihovnu `hal_lcd.c`, která obsahuje funkce pro inicializaci displeje a zobrazování řetězců.

15 Realizace ovládání

Jelikož monitorovací modul sestává z desky SmartRF04EB, která již obsahuje dostatek řídicích prvků, nebylo potřeba přidávat další tlačítka. Všechny funkce se ovládají joystickem a tlačítkem S1.

Měřicí modul obsahuje pouze jedno ovládací tlačítko, sloužící k přepínání mezi režimem měření a nastavení. Toto je realizováno tlačítkem P_DTE6SW, které je přes pull-up rezistor 43k připojeno k pinu P0_1 procesoru.

16 Testování

Test dosahu ZigBee mezi moduly byl prováděn nejprve ve venkovních prostorách bez překážek. Poté s různými překážkami. Nakonec byl proveden test uvnitř domu, kde již signál nebyl tolik stabilní. To bylo způsobeno hlavně výslednými tloušťkami zdí, které se při pohybu v domě měnily. Pokud ovšem člověk vstoupil do prostoru, ve kterém jeho měřicí modul a monitorovací modul dělilo více než metr zdi, komunikace byla přerušena.

Překážka	žádná	člověk	zeď 40cm	zeď 80cm
dosah[m]	155	43,5	23	11

Tab.12 Naměřené hodnoty dosahu ZigBee

17 Závěr

Mým hlavním cílem bylo sestavit bezdrátový systém měření teploty pro protichemické požární obleky. Již ze zadání vyplývá, že měřicí modul musí mít co nejmenší možné rozměry. Pro zpracování a bezdrátový přenos hodnot byl vybrán mikroprocesor CC2430 od firmy Texas Instruments, který má již vestavěnou technologii ZigBee.

Nejprve bylo nutné vybrat vhodný senzor pro měření okolní teploty a poté realizovat jeho komunikaci s mikroprocesorem. I když teplotní senzor je již obsažen v perifériích mikroprocesoru CC2430, pro účely této úlohy byl vhodnější digitální senzor LM92. Ten komunikuje s řídicí jednotkou, v tomto případě s mikroprocesorem, pomocí I2C. Naměřená teplota, po převedení na decimální tvar, je porovnávána s hodnotou, kterou si uživatel zvolil jako kritickou.

Jak již bylo zmíněno, pro přenos dat mezi měřicím a monitorovacím modulem probíhá pomocí protokolu ZigBee. Z výsledku testování se však ukázalo, že tahle technologie, i přes všechny svoje výhody, není vzhledem ke svému dosahu pro tuto aplikaci nejvhodnější. Problém s dosahem nastává zejména v prostorách budov, tedy v prostorách s větším množstvím překážek. Použití této bezdrátové technologie by se tedy muselo omezit pouze na výjezdy k zásahům probíhajícím ve venkovních prostorách (havárie atd.). Bohužel ani zde není signál natolik stabilní, aby mohl rozhodovat o lidských životech. Pro zlepšení dosahu by se musela zvolit jiná technologie bezdrátového přenosu, jako je například GSM.

přes výše zmíněný nedostatek může být zařízení užitečné do té míry, že upozorní zasahující hasiče na překročení teploty, kterou si uživatel sám nastaví pomocí počítače a RS232 na monitorovacím modulu, a poté bezdrátově nahraje do měřicího modulu. Pomocí počítače lze nastavit i jména modulů pro monitorování nebo sledovat měřenou hodnotu na monitoru.

Kromě aktuální teploty dokáže monitorovací modul sledovat také aktuální stav baterie měřicích modulů.

Pokud by se upustilo od původního zaměření na protichemické požární obleky, dalo by se výrobku využít všude tam, kde potřebujeme měřit teplotu na různých, nejlépe nepohyblivých místech, ve spolehlivém dosahu od monitorovacího modulu. I tam bychom jistě ocenili možnost nastavitelného alarmu, sledování stavu baterie a další.

I přesto, že jsou hlavní požadované vlastnosti splněny a zadané funkce v pořádku pracují, je na zařízení ještě stále co vylepšovat. Mezi hlavní nedostatky by se jistě řadilo neošetření situací, kdy uživatel zadá při nastavování jiný než požadovaný formát. Dále by bylo vhodné vylepšit komunikaci s počítačem vlastním softwarem.

18 Seznam použité literatury

- [1] *Teplota* [online]. 2003, Poslední revize 1. 11 2010 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Teplota> >.
- [2] *Temperature* [online]. 2001, Poslední revize 9.11.2010 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Temperature>>
- [3] GENONG, William. *Přehled lékařské fyziologie*. 20. vyd. Praha : Galén. 2005. 890 s. Název originálu: Review of medical fysiology. ISBN 80-7262-311-7.
- [4] *Úpal* [online]. 2007, Poslední revize 14.7.2010 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/%C3%9Apal> >
- [5] MACHART, Stanislav. *Úpal, úžeh a poškození teplem* [online] 2009. Datum poslední revize 24.6.2009 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.ordinace.cz/clanek/upal-uzeh-a-poskozeni-teplem/>>
- [6] *Úpal může být životu nebezpečný* [online] 2000. Datum poslední revize 14.6.2000 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://zdravi.doktorka.cz/upal-muze-byt-zivotu/>>
- [7] DOGAN, Ibrahim. *Mikrocontrollers Projects in C for the 8051*. 1. vyd. Oxford : Newnes. 2000. 208s. ISBN-13 978-0750646406.
- [8] *Teploměr* [online] 2005. Datum poslední revize 8.8.2010 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Teplom%C4%9Br>>
- [9] *Ochranné oděvy* [online] 2010. Datum poslední revize 8.11.2010 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <http://www.hasicihustejnet.eu/3rocnik/data/technicke_prostredky_PO_1/Ochranne_od_evy.pdf>
- [10] *Ochranný oděv* [online] 2006. Datum poslední revize 10.9.2010 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ochrann%C3%BD_od%C4%9Bv>
- [11] HORÁKOVÁ, Vendula. *Zásahy v protichemických oblecích jsou nejnáročnější* [online] 2010. Datum poslední revize 19.4.2010 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <http://www.katastrofy.com/scripts/index.php?id_nad=19595>

- [12] *LM92* [online] 2010. Datum poslední revize 2.11.2010 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.national.com/ds/LM/LM92.pdf>>
- [13] *ADT7411* [online] 2006. Datum poslední revize 17.5.2007 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADT7411.pdf>
- [14] *AD7314* [online] 2003. Datum poslední revize 1.10.2003 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7314.pdf>
- [15] *CC2430* [online] 2007. Datum poslední revize 30.5.2007 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2430.pdf>>.
- [16] GRIM, Stanislav. *OPCH-90-PO* [online] 2006. Datum poslední revize 22.října 2006 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://firepatch.blog.cz/0610/opch-90-po>>
- [17] *Farnell* [online] 2003 Datum poslední revize 10.11.2010 [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://cz.farnell.com>>
- [18] *ZigBee* [online] 2005. Datum poslední revize 13.4.2010 [cit. 2011-4-09]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Teplom%C4%9Br>>
- [19] *MicroWatt* [online] 2008. Datum poslední revize 6.8.2010 [cit. 2011-4-09]. Dostupné z WWW: <<http://www.microwatt.co.uk/services/wireless/>>
- [20] *Using UART in CC111xFx, CC243xFx, CC251xFx and CC253xFx* [online] 2008. Datum poslední revize 30.6.2009 [cit. 2011-4-09]. Dostupné z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/an/swra222b/swra222b.pdf>>
- [21] *Using the ADC to Measure Supply Voltage* [online] 2006. Datum poslední revize 22.10.2007 [cit. 2011-4-09]. Dostupné z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/an/swra100a/swra100a.pdf>>

Seznam příloh

Příloha I Schéma zapojení

Příloha II Schéma oboustranné desky plošných spojů

Příloha III Fotografie měřicího modulu

Příloha IV Manuál

Příloha V Zdrojové kódy pro mikropočítač